

15. 6. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

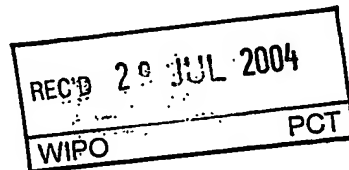
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 6 月 1 9 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 7 5 1 4 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 7 5 1 4 7]

出 願 人 T D K 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

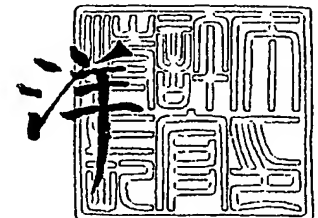


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 7 月 1 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 6 1 4 2 4

【書類名】 特許願

【整理番号】 P-05459

【提出日】 平成15年 6月19日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 5/00
G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケ
イ株式会社内

【氏名】 榎戸 靖

【特許出願人】

【識別番号】 000003067

【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100100077

【弁理士】

【氏名又は名称】 大場 充

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 085823

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 フォトニック結晶の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の誘電体と当該第 1 の誘電体と異なる比誘電率を有する第 2 の誘電体とを周期的に配置したフォトニック結晶の製造方法であって、

前記第 1 の誘電体を含む誘電体シートに、厚さ方向に貫通する所定パターンの孔を形成する工程 a と、

前記所定パターンの孔が形成された前記誘電体シートを積層し、所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロックを得る工程 b と、

前記誘電体ブロックの前記空隙内に、前記第 2 の誘電体を充填する工程 c と、を備えたことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 2】 前記第 1 の誘電体および前記第 2 の誘電体は、いずれも誘電体セラミックスであることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 3】 前記工程 b で得られる前記誘電体ブロックは、前記所定パターンの空隙が表裏面を貫通していることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 4】 前記工程 c において、前記第 2 の誘電体を含む粉末スラリーを前記誘電体ブロックの空隙内に充填することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 5】 前記工程 c において、前記誘電体ブロックの空隙内への前記粉末スラリーの充填は吸引または加圧により行われることを特徴とする請求項 4 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 6】 前記工程 c の後に、前記第 1 の誘電体と前記第 2 の誘電体を同時焼成する工程 d をさらに備えることを特徴とする請求項 1 ～ 5 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 7】 前記誘電体シートの厚さは $1 \sim 800 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 8】 前記フォトニック結晶は、2 次元周期構造を有することを特

徴とする請求項 1～7 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フォトニック結晶の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、誘電率を周期的に変化させたフォトニック結晶が注目を浴びている。フォトニックバンドギャップ（以下、単に「バンドギャップ」という）を発現するフォトニック結晶は、光および電磁波を制御する素子として使用可能である。例えば、フォトニック結晶中に欠陥を設け、光導波路を形成することで、フォトニック結晶を伝送線路として使用することが可能である（例えば、特許文献 1、2 参照）。

フォトニック結晶は、誘電率の周期構造が 2 次元である（以下、「2 次元周期構造」という）フォトニック結晶と、誘電率の周期構造が 3 次元である（以下、「3 次元周期構造」という）フォトニック結晶とに大別される。

初めて作製されたフォトニック結晶は、図 7 に示す、3 次元周期構造の「ヤブロノバイト（Yablonovite）」である（非特許文献 1 参照）。図 7 に示すように、ヤブロノバイトは、誘電体ブロック 81 に所定間隔で三角配置された開口部 82 の各々から、その法線に対し 35.26° の角度で 3 方向から 120° の間隔で穿孔されることで作製される。なお、図 7 において、符号 82a～82c は、穿孔方向を示している。

【0003】

ヤブロノバイト以降、2 次元周期構造および 3 次元周期構造を問わず、数多くのフォトニック結晶が提案されている。それらのフォトニック結晶はマイクロマシン技術、ウエハー融着、半導体微細加工技術、自己クローニング技術、2 光子吸収を用いたポリマーの重合反応、光造形法およびドライエング法等（以下、「マイクロマシン技術等」と総称する）を用いて作製されている。

【0004】

フォトニック結晶は、誘電率の異なる２種類以上の物質を用いて作製される。一般に、そのうちの１種類として空気を利用することが多いが、近年、SiやGaAs等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂、誘電体セラミックス等を組み合わせてフォトニック結晶を作製することも提案されている（例えば、特許文献１、２参照）。

【0005】

【特許文献１】

特開 2001-237616 号公報（特許請求の範囲）

【特許文献２】

特開 2001-237617 号公報（特許請求の範囲）

【非特許文献１】

e. Yablonovitch, T. J. Gmitter and K. M. Leung: Phys. Rev. Lett. 67, 2295 (1991)

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

マイクロマシン技術等は、いずれもその工法が複雑なために歩留まりが悪く、時間がかかるため量産に向かない。

また、上記した特許文献１にはエピタキシャル結晶成長方法を用いてフォトニック結晶を作製する方法等が、上記した特許文献２にはマウンター機器を使用しフォトニック結晶を作製する方法等が開示されているが、より簡易かつ短時間でフォトニック結晶を得る技術が求められている。

そこで、本発明は、量産性に優れたフォトニック結晶の製造方法を提供することを課題とする。また、小型、高強度かつ高特性のフォトニック結晶を簡便に得るための技術を提供することを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

かかる目的のもと、本発明者は様々な検討を行った。その結果、厚さ方向に貫通する所定パターンの孔を誘電体シートに形成し、この誘電体シートを積層して所定パターンの空隙を有する誘電体ブロックとするとともに、誘電体ブロックの

空隙内に、誘電体シートを形成する誘電体とは異なる第2の誘電体を充填することが、フォトリソグラフィ結晶を作製する上で極めて有効な方法であることを知見した。すなわち、本発明は、第1の誘電体と当該第1の誘電体と異なる比誘電率を有する第2の誘電体とを周期的に配置したフォトリソグラフィ結晶の製造方法であって、第1の誘電体を含む誘電体シートに、厚さ方向に貫通する所定パターンの孔を形成する工程aと、工程aで得られた誘電体シートを積層することで、所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロックを得る工程bと、工程bで得られた誘電体ブロックの空隙内に、第2の誘電体を充填する工程cとを備えたことを特徴とするフォトリソグラフィ結晶の製造方法を提供する。

誘電体ブロックを予め作製した後に、誘電体ブロックに穿孔して所定パターンの空隙を形成させるという方法もあるが、本発明では、穿孔した誘電体シートを積層することで誘電体ブロックに所定パターンの空隙を周期的に配列させる。これにより、特に複雑な工程を要することなく、誘電体ブロックに所定パターンの空隙を短時間で形成することが可能となる。なお、工程aでは、誘電体シート1枚毎に穿孔してもよいし、誘電体シートの厚さによっては複数枚重ねて穿孔してもよい。

また、工程aで、誘電体シートに形成する孔のパターンを適宜選択することによって、2次元周期構造のみならず、3次元周期構造のフォトリソグラフィ結晶を得ることもできる。これまで、完全バンドギャップが得られる2次元周期構造のフォトリソグラフィ結晶として、空気円柱を誘電体中で三角格子状に配置することで、完全バンドギャップが得られることがわかっていたが、誘電体の肉厚が薄いために作製が困難であった。これに対し、孔をあけやすい薄いシートに穿孔したシートを積層し、所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロックを得た後、誘電体ブロックの空隙内に、第2の誘電体を充填することを特徴とする本発明のフォトリソグラフィ結晶の製造方法によれば、完全バンドギャップが得られる2次元周期構造のフォトリソグラフィ結晶も、容易に得ることができる。

【0008】

本発明におけるフォトリソグラフィ結晶の製造方法では、上述した第1の誘電体および第2の誘電体を、いずれも誘電体セラミックスとする。誘電体セラミックスは

、SiやGaAs等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも、比誘電率が大きい。このため、第1の誘電体および第2の誘電体の両者を誘電体セラミックスとすることで、小型かつ高強度のフォトニック結晶を得ることができる。また、第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスとの比誘電率の比率が大きくなるように両セラミックスの種類を適宜選択することで、バンドギャップが大きなフォトニック結晶を得ることができる。なお、誘電体セラミックスは、半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも材料損失が小さい点でも、有利である。

【0009】

また、本発明では、厚さ方向に貫通する所定パターンの孔が形成された誘電体シートを積層する、という新規な方法で誘電体ブロックを作製している。よって、上述した工程bにおいて誘電体シートの積層が完了した時点で、誘電体ブロックを、所定パターンの空隙が表裏面を貫通しているものとすることもできる。誘電体ブロックを作製した後に、誘電体ブロックに対してドライエッチング等を施すことで所定パターンの空隙を形成する方法と比較すると、短時間かつ高い精度で所定パターンの空隙を形成させることができるという点で、本発明の方法は有利である。

【0010】

さらに、上述した工程cにおいて、誘電体ブロックの空隙内に第2の誘電体を充填させるには、第2の誘電体をスラリー状にして、これを誘電体ブロックの空隙内に充填するという方法が、充填の工程を簡略化および短時間化する上で有効である。なお、第2の誘電体は、粉末としてスラリーに含まれる。第2の誘電体を充填する方法として、誘電体をエピタキシャル結晶成長させるという方法も提案されているが（例えば、特許文献1）、エピタキシャル結晶成長が可能な誘電体の種類は自ずと限定されるとともに、所定の厚さまで誘電体をエピタキシャル結晶成長させるには膨大な時間を要する。これに対し、第2の誘電体を含む粉末スラリーを作製し、これを誘電体ブロックの空隙内に充填するという本発明の方法によれば、エピタキシャル結晶成長を用いる場合よりも第2の誘電体の選択肢が豊富であり、かつ第2の誘電体を誘電体ブロックの空隙内に充填する工程を短

時間で終わることができる。

工程 c において、誘電体ブロックの空隙内へスラリー状の第 2 の誘電体を充填する際には、吸引または加圧による方法が好適である。ここで、スラリーの充填方法および誘電体ブロックの空隙のサイズに応じて、第 2 の誘電体を含むスラリー（以下、「粉末スラリー」という）の粘度を適宜設定することが望ましい。例えば、吸引によって粉末スラリーを充填する場合には、粉末スラリーをバインダレスとし、粘度を低下させることで、充填工程に要する時間をより一層短縮することができる。

【0011】

本発明のフォトニック結晶の製造方法において、上述した工程 c の後に、第 1 の誘電体と第 2 の誘電体を同時焼成する工程 d をさらに備えることができる。この場合には、第 1 の誘電体および第 2 の誘電体を、同時焼成可能という条件を満たすようにして予め選択しておく。なお、第 2 の誘電体が充填された誘電体ブロックを乾燥させた成形体をそのままフォトニック結晶として用いてもよいが、焼結体とすることで、機械的強度や誘電率がさらに向上する。

本発明のフォトニック結晶の製造方法では、誘電体シートの厚さを $1 \sim 800 \mu\text{m}$ とすることが望ましい。シート厚をこの範囲とすることで、誘電体シートに所定パターンの孔を形成する際のハンドリングを良好なものとすることができる。また、シート厚が厚くなりすぎると、孔の断面形状がいびつになりやすい。そして、孔の断面形状がいびつな誘電体シートを積層して誘電体ブロックを形成したとすると、誘電体ブロック中の空隙のパターンを所望のパターンとすることができず、最終的に所望のバンドギャップを有するフォトニック結晶を得ることが困難となる。これに対し、誘電体シートの厚さを $1 \sim 800 \mu\text{m}$ とすることで、ハンドリングを良好なものとしつつ、所望のパターンを有する空隙を誘電体ブロック中に形成することが可能となる。

以上の本発明のフォトニック結晶の製造方法は、2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する場合、3次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する場合のいずれであっても適用可能である。特に、本発明を2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製するために用いた場合には、フォトニック結晶作

製に要する時間を従来よりも大幅に短くすることができる。

【0012】

【発明の実施の形態】

はじめに、本実施の形態におけるフォトニック結晶の製造方法の概要を説明する。本実施の形態では、第1の誘電体セラミックスと、この第1の誘電体セラミックスと異なる比誘電率を有する第2の誘電体セラミックスとを用いて、2次元周期構造または3次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する。

まず、第1の誘電体セラミックスを含む誘電体シートを作製し、この誘電体シートに所定パターンの孔を形成する。次いで、この誘電体シートを積層することで、所定パターンの空隙が形成された誘電体ブロックを形成する。そして、この誘電体ブロックの空隙内に、粉末状の第2の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを充填することで、第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスとが周期的に配列されたフォトニック結晶を作製するのである。

以下、添付図面に示す実施の形態に基づいてこの発明を詳細に説明する。

【0013】

図1は、本実施の形態におけるフォトニック結晶を示す斜視図である。

図1に示すように、フォトニック結晶10は、第1の誘電体セラミックスから構成される第1の誘電体材料部1と、第2の誘電体セラミックスから構成される第2の誘電体材料部2とを備える。このフォトニック結晶10は2次元周期構造を備えており、第2の誘電体材料部2は、フォトニック結晶10の表裏面を貫通している。

【0014】

本実施の形態におけるフォトニック結晶10は、第1の誘電体材料部1および第2の誘電体材料部2を構成する材料として、いずれも誘電体セラミックスを使用することを特徴とする。つまり、第1の誘電体材料部1は第1の誘電体セラミックスで構成され、一方、第2の誘電体材料部2は第1の誘電体セラミックスとは異なる比誘電率を有する第2の誘電体セラミックスで構成される。このように、2種類の誘電体セラミックスを用いることで、高強度かつ高特性のフォトニック結晶10を得ることができる。また、上述したように、誘電体セラミックスは

、SiやGaAs等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも比誘電率が大きいため、素子を小型化することが可能となる。誘電体内の波長は比誘電率の平方根に反比例し、比誘電率の大きい材料ほど、波長短縮効果が大きく、素子の小型化に有利であるからである。

【0015】

第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスは、フォトニック結晶10に求められる特性に応じて、例えば、チタン酸バリウム系、チタン酸鉛系、チタン酸ストロンチウム系、二酸化チタン系、バリウム・ネオジ・チタニウム系の酸化物、アルミナ系、シリカ系、ガラスコンポジット材料等の中から適宜選択される。

以下、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスの選択基準を示す。

【0016】

(第1の選択基準)

第1の誘電体セラミックスの比誘電率と、第2の誘電体セラミックスの比誘電率との比率が大きいほど、広帯域なバンドギャップを形成することができる。よって、第1の誘電体セラミックスの比誘電率と、第2の誘電体セラミックスの比誘電率との比率が大きくなるように、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスをそれぞれ選択する。

一般的に、高周波用誘電体セラミックスの比誘電率は3～100程度であるため、第1の誘電体セラミックスとして比誘電率の低いものを選択する場合には、第2の誘電体セラミックスとして比誘電率の高いものを選択することで、広帯域なバンドギャップを形成することができる。逆に、第1の誘電体セラミックスを比誘電率の高いものとし、第2の誘電体セラミックスを比誘電率の低いものとするすることで、比誘電率の比率を大きくして広帯域なバンドギャップを形成するようにしてもよい。

望ましい比誘電率の比率は、最終的に得たいフォトニック結晶10の特性等に依存する。

【0017】

(第2の選択基準)

第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスとして、使用する周波数帯域において材料損失が少ない誘電体セラミックスを選択する。複数の誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶10を作製する場合において、フォトニック結晶10の用途によっては、それらの物質に起因する材料損失は無視することができないからである。損失が少ない誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶10を構成することで、フォトニック結晶10を用いた素子を損失の低いものとすることができる。

(第3の選択基準)

詳しくは後述するが、本実施の形態におけるフォトニック結晶10は、第1の誘電体材料部1および第2の誘電体材料部2は同時焼成される。よって、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスとして、同時焼成が可能なもの、具体的には熱収縮のマッチングがとれているものを選択する。熱収縮のマッチングがとれているか否かは、同一温度で焼成した際の収縮率等で、判断すればよい。

【0018】

以上の選択基準に基づき、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスを選択する。本実施の形態では、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスの比誘電率の比率が大きくなるよう、第1の誘電体セラミックスとして比誘電率が低い誘電体セラミックスを使用し、一方、第2の誘電体セラミックスとして比誘電率が高い誘電体セラミックスを使用してフォトニック結晶10を作製する場合を例にして、以下の説明を行う。

【0019】

第1の誘電体材料部1を構成する第1の誘電体セラミックスとしては、比誘電率が低いセラミック材料やガラスコンポジット材料等を使用する。具体的には、 $\text{BaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 系材料や SiO_2 系材料、 B_2O_3 系材料、 2MgO-SiO_2 系材料、 Al_2O_3 系材料、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 系材料、 ZrO_2 系材料等を第1の誘電体材料として用いることができる。これらは、いずれも比誘電率が2～20程度と低く、かつ誘電損失が低いため、第1の誘電体セラミッ

クスとして好適である。

第1の誘電体セラミックスの平均粒径は0.1～20 μm 程度とすればよい。第1の誘電体セラミックスとして平均粒径が0.1～20 μm 程度の粉末を用いることで、高密度成形を可能としつつ、粉末の凝集を抑制することができ、周期構造を安定して形成することができる。第1の誘電体セラミックスの望ましい平均粒径は0.5～10 μm 、より望ましい平均粒径は0.5～5 μm である。

【0020】

第2の誘電体材料部2を構成する第2の誘電体セラミックスとしては、比誘電率が高いセラミック材料やガラスコンポジット材料等を使用する。具体的には、 $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}_2-\text{CuO}$ 系材料や $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系材料、 TiO_2 系材料、 $\text{BaO}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系材料、 $\text{BaO}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SrTiO}_3$ 系材料、 $\text{BaO}-\text{PbO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系材料、 $\text{BaNd}_2\text{Ti}_5\text{O}_{14}$ 系材料、 $\text{BaSm}_2\text{Ti}_5\text{O}_{14}$ 系材料、 $\text{Ba}(\text{Zn}, \text{Nb})\text{O}_3$ 系材料、 BaTi_4O_9 系材料、 $\text{Ba}_2\text{Ti}_9\text{O}_{20}$ 系材料、 $(\text{Zr}, \text{Sn})\text{TiO}_4$ 系材料、 $\text{Ba}(\text{Zn}, \text{Ta})\text{O}_3$ 系材料、 $\text{Ba}(\text{Mg}, \text{Ta})\text{O}_3$ 系材料、 $\text{MgTiO}_3-\text{CaTiO}_3$ 系材料等を第2の誘電体セラミックスとして用いることができる。これらは、いずれも比誘電率が5～200程度と高く、かつ誘電損失が低いため、第2の誘電体セラミックスとして好適である。

第1の誘電体セラミックスと同様の理由に基づき、第2の誘電体セラミックスの平均粒径は0.1～20 μm 程度とすればよい。第2の誘電体セラミックスの望ましい平均粒径は0.5～10 μm 、より望ましい平均粒径は0.5～5 μm である。

なお、焼成時に、第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスとの挙動を合わせるために、第1の誘電体セラミックスのサイズと第2の誘電体セラミックスのサイズを略同一としておくことが望ましい。

【0021】

ここで、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスの望ましい組合せを、以下に示しておく。

【0022】

<組合せ1>

第1の誘電体セラミックス:

$\text{BaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ 系誘電体セラミックス

(比誘電率6.4)

第2の誘電体セラミックス:

$\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}_2-\text{CuO}$ 系誘電体セラミックス

(比誘電率75.4)

<組合せ2>

第1の誘電体セラミックス:

$\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$ 系誘電体セラミックス (比誘電率4.7)

第2の誘電体セラミックス:

$\text{TiO}_2-\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3$ -glass系誘電体セラミックス (比誘電率22)

【0023】

上述の組合せにおいて、比誘電率 ϵ が6.4である $\text{BaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ 系材料と、比誘電率が75.4である $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}_2-\text{CuO}$ 系材料との組合せは、特に望ましい。両材料は、比誘電率の比率が約11.8と大きく、しかも熱収縮のマッチングがとれているため、同時焼成が可能であるからである。

【0024】

ところで、2種類の誘電体材料を用いてフォトニック結晶を作製する場合には、誘電体材料のうち一方を空気とすることが多い。これに対し、本実施の形態におけるフォトニック結晶10では、複数種類の誘電体セラミックス、すなわち、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶10を構成するようにしたので、製品の強度を向上させることができる。

【0025】

なお、Kバンド(18~26.5GHz)において4~5周期分の周期構造としたときに、本実施の形態におけるフォトニック結晶10の寸法は、8~12mm×2~6mm×16~20mm程度である。

【0026】

次に、図2および図3を用いて、本実施の形態におけるフォトリソグラフィ結晶10の製造方法について説明する。図2は、本実施の形態におけるフォトリソグラフィ結晶10の製造方法のフローチャートである。また、図3は、図2中に示した誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図である。

図2に示すように、本実施の形態では、第1の誘電体セラミックスおよび樹脂等を混合しシート化するシート作製工程、シート作製工程で得られたシートに所定パターンの孔を形成するシートパンチング工程、所定パターンの孔が形成されたシートを積層し誘電体ブロックを得るシート積層工程、誘電体ブロック中の孔に粉末スラリーを充填させる粉末スラリー充填工程、粉末スラリーが充填された誘電体ブロックを乾燥させる乾燥工程、乾燥した誘電体ブロックを所定形状に切り出す切り出し工程、誘電体ブロックを焼成する焼成工程を含む。なお、粉末スラリー作製工程は、粉末スラリー充填工程の前に行われればよく、必ずしもシート作製工程と同じ段階で行われる必要はない。

本実施の形態では、シート作製工程、シートパンチング工程、シート積層工程を経ることで、第1の誘電体材料部1となる誘電体ブロックが作製される。よって、シート作製工程、シートパンチング工程およびシート積層工程を総称して、適宜、「誘電体ブロック作製工程」と称する。また、粉末スラリー充填工程および乾燥工程を経ることで、第2の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーが第2の誘電体材料部2となる。

以下、図2に示した各工程について詳述する。

【0027】

<シート作製工程>

シート作製工程では、まず、第1の誘電体セラミックス、バインダ樹脂および分散媒をボールミル等で混合してスラリーを得る。第1の誘電体セラミックスとしては、上述した比誘電率が低い誘電体セラミックスを用いることができる。バインダ樹脂としてはアクリル系樹脂、ブチラール系樹脂、エチルセルロース系樹脂等を用いることができる。また、分散媒としては、アセトン、トルエン、メチルエチルケトン、エタノール等の各種有機溶剤を用いることができる。第1の誘

電体セラミックス、バインダ樹脂および分散媒の比率は、それぞれ vol % で 10～40 : 5～20 : 40～85 程度とすればよい。

なお、必要に応じて、オレフィンマレイン酸コポリマー等の分散剤をさらに添加することができる。分散剤を添加する場合には、その添加量を第1の誘電体セラミックスに対し、0.1～5 wt % 程度とすればよい。

【0028】

こうして得られたスラリーを、ドクターブレード法等を用いてフィルム（例えば PET フィルム）上に塗布し、乾燥させ、図3（a）に示すようなグリーンシート（誘電体シート）11を得る。

【0029】

グリーンシート11には、後述するシートパンチング工程で所定パターンの孔が形成されるが、グリーンシート11の厚さが厚すぎると、グリーンシート11を貫通する孔の断面形状がいびつになる。具体的には、シート上面における孔径とシート下面における孔径が相違して台形状となりやすい。孔の断面形状がいびつなグリーンシート11を積層して熱圧着すると、誘電体ブロック内の空隙の形状もいびつになり、所望のパターンを形成することができず、最終的に所望のバンドギャップを有するフォトニック結晶10を得ることが困難となるため、好ましくない。一方、グリーンシート11の厚さが薄すぎると、グリーンシート11の強度が低く、ハンドリングが難しい。よって、グリーンシート11の厚さは1～800 μm 、より望ましくは10～500 μm 、さらに望ましくは20～200 μm の範囲で適宜選択すればよい。但し、望ましいシート厚は穿孔方法にも依存するものであり、穿孔方法に応じて適宜設定する必要がある。

【0030】

<シートパンチング工程>

図3（b）に示すように、シートパンチング工程では、シート作製工程で得られたグリーンシート11に所定パターンの孔hを形成する。このパターンは、最終的に得たいフォトニック結晶が2次元周期構造のものか、3次元周期構造のものか、に応じて適宜決定する。例えば、図1に示した2次元周期構造のフォトニック結晶10を得たい場合には、図4に示すようなパターンを有するパンチを準

備すればよい。こうしたパンチを使用することで、グリーンシート 11 に一工程で複数の孔 h を形成することができる。なお、グリーンシート 11 の厚さによっては、グリーンシート 11 を複数枚重ねてパンチングを行ってもよい。

所定パターンの孔 h をグリーンシート 11 に形成するには、パンチングの他に、ドリリング、レーザ照射等の方法が適用可能である。

ここで、孔 h の大きさは、最終的に得たいフォトニック結晶 10 の特性等に応じて適宜設定する。

また、3次元周期構造のフォトニック結晶を最終的に得たい場合には、3次元構造を複数の薄層の積層体と考え、各グリーンシート 11 について、各々の層に相当する形状に穿孔すればよい。なお、穿孔方法は、2次元周期構造のフォトニック結晶 10 を作製する場合と同様である。

【0031】

<シート積層工程>

図 3 (c) に示すように、シート積層工程では、所定パターンの孔 h が形成されたグリーンシート 11 を積層し、熱圧着する。この熱圧着は、グリーンシート 11 を 1 枚積層する毎に行ってもよいし、複数枚積層してから行ってもよい。グリーンシート 11 の積層および熱圧着により、図 3 (d) に示すような誘電体ブロック 13 が最終的に得られる。つまり、熱圧着はグリーンシート 11 を一体化するために行う。後述するように、本実施の形態では誘電体ブロック 13 の空隙内に粉末スラリーが充填されるが、熱圧着を行わずに粉末スラリーを充填しようとすると、グリーンシート 11 同士の隙間にも粉末スラリーが進入するおそれがあり、所望のパターンを有するフォトニック結晶 10 を最終的に得ることが困難となる。

熱圧着の際の加熱温度は、グリーンシート 11 を作製する際に用いた樹脂成分に依存する。例えば、シート作製に用いた樹脂がアクリル樹脂である場合には、加熱温度を 70～90℃に設定すればよい。また、圧力は、シートの厚さに応じて適宜設定すればよいが、20～80 kg/cm²程度に設定すればよい。あまり温度が高すぎると、もしくは圧力が高すぎると、グリーンシート 11 に形成した孔 h の形状が著しく変化してしまう。一方、温度が低すぎると、もしくは圧力

が低すぎると、グリーンシート 11 の圧着が十分ではなく、剥がれが生じてしまう。

孔 h が形成されたグリーンシート 11 を積層して得られた誘電体ブロック 13 には、所定パターンの空隙が形成されることとなる。図 3 (d) の例では、円柱状の空隙が、誘電体ブロック 13 の表裏面を貫通するようにして多数形成されている。なお、図 3 (d) では、グリーンシート 11 の積層数が 6 枚の例を示したが、積層数は特に限定されるものではなく、最終的に得たいフォトリソグラフィ結晶 10 のサイズおよびグリーンシート 11 の厚さに応じて適宜決定する。

【0032】

以上、シート作製工程、シートパンチング工程、シート積層工程から構成される誘電体ブロック作製工程について詳述した。次に、粉末スラリー充填工程に先立ち行われる粉末スラリー作製工程について説明する。

【0033】

<粉末スラリー作製工程>

粉末スラリー作製工程では、第 2 の誘電体セラミックス、分散媒および分散剤をらいかい機等で混合し、所定の粘度を有する粉末スラリーを作製する。粉末スラリーをバイングレス、具体的にはバイング樹脂を添加しないものとする事で、粉末スラリーの粘度が高粘度になりすぎることを防止することができる。

第 2 の誘電体セラミックスとしては、上述した比誘電率が高い誘電体セラミックスを用いることができる。

分散媒としては、テルピネオール、ブチルカルビトール等を用いることができる。分散媒の種類や量を適宜選択することで、粉末スラリーの粘度を調整することができる。例えば、ブチルカルビトールは粘度が低く、一方、テルピネオールは粘度が高いため、両者を適当な比率で混合して分散媒とすることで、粉末スラリーの粘度を適宜、調整することができる。

粉末スラリー中の粉体濃度は、誘電体ブロック 13 中の粉体密度と同等となるように設定する。上述した条件で誘電体ブロック 13 を作製した場合には、第 2 の誘電体セラミックスおよび分散媒の比率は、vol % で 40 ~ 55 : 45 ~ 60 程度、望ましくは 45 ~ 55 : 45 ~ 55 程度とすればよい。但し、粉末スラ

リーの粘度は、グリーンシート 11 に形成する孔 h のサイズに応じて適宜設定する必要がある。また、乾燥工程における乾燥収縮分も考慮して、粉末スラリーの粘度を設定する。

また、必要に応じて、オレイン酸等の分散剤をさらに添加することができる。分散剤を添加する場合には、その添加量を第 2 の誘電体セラミックスに対し、0.2～5wt%程度とすればよい。分散剤の種類は特に限定されるものではないが、粉末スラリーの粘度を低くする上で有効であるという理由から、オレフィンマレイン酸コポリマーが望ましい。分散剤としてオレフィンマレイン酸コポリマーを選択する場合の望ましい添加量は、第 2 の誘電体セラミックスに対し、0.2～5wt%程度である。

【0034】

なお、上述したように、粉末スラリーをバインドレスとすることで、粉末スラリーの粘度を低いレベル、具体的には後述するスラリー充填工程に適した低粘度のものとすることができる。但し、グリーンシート 11 に形成する孔 h の径やスラリーの充填方法に応じて、適宜、樹脂成分（例えば、エチルセルロース）添加して粉末スラリーの粘度を調整してもよい。

【0035】

<粉末スラリー充填工程>

粉末スラリー充填工程では、誘電体ブロック 13 の空隙内に粉末スラリーが充填される。

粉末スラリーの充填方法としては吸引が望ましい。吸引により誘電体ブロック 13 の空隙内に粉末スラリーを充填するには、まず、金属、セラミックス、ポリテトラフルオロエチレン（商標名：テフロン）等の多孔質の吸引板に、誘電体ブロック 13 を載置する。次いで、誘電体ブロック 13 の上部、つまり誘電体ブロック 13 において吸引板と接していない側に、第 2 の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを十分にせる。そして、ポンプを用いて、吸引板の下から粉末スラリーを吸引する。これにより、誘電体ブロック 13 中の空隙内に、粉末スラリーを密に充填させることができる。吸引完了後に、誘電体ブロック 13 上部に残存している粉末スラリーをスキージ等で除去する。

【0036】

粉末スラリーの粘度は、誘電体ブロック13の空隙の大きさに応じて適宜設定する。粘度が高すぎると、粉末スラリーの吸引が難しく、一方、粘度が低すぎると、成形体、つまり粉末スラリーを充填させた誘電体ブロック13を乾燥させることで得られる成形体にポアが発生しやすい。よって、誘電体ブロック13の空隙内に粉末スラリーを効率よく充填することが可能な程度に、粉末スラリーの粘度を設定する。

なお、粉末スラリーの充填方法として、吸引の他には加圧による充填方法が望ましい。加圧による充填方法を採用するには、まず、誘電体ブロック13の上部に粉末スラリーを十分にせる。そして、空気圧やスキージによる塗布などの方法を用いて圧力をかけて、粉末スラリーを誘電体ブロック13の空隙内に充填させればよい。

【0037】

<乾燥工程>

乾燥工程では、粉末スラリーが充填された誘電体ブロック13を乾燥させることで、成形体を得る。乾燥方法は特に限定されるものではなく、自然乾燥でも加熱乾燥でもよい。

なお、乾燥後に得られた成形体の密度が十分に高くない場合には、乾燥工程後に熱プレスを行ってもよい。但し、第1の誘電体材料部1と第2の誘電体材料部2の弾性挙動が相違するような場合には、熱プレスにより、両材質間に応力が発生して成形体にクラックが発生する場合がある。よって、熱プレスを行う際には、第1の誘電体材料部1と第2の誘電体材料部2とが同等の弾性挙動をもつように、材料の選択等を行う必要がある。例えば、粉末スラリーを作製する際に、グリーンシート11作製時に使用したバインダ樹脂を所定量含有させることで、第1の誘電体材料部1と第2の誘電体材料部2との弾性挙動を合わせることができる。

【0038】

<切り出し工程>

切り出し工程では、最終的に得られるフォトニック結晶10の用途に応じて、

成形体を所定形状に切り出す。

【0039】

<脱バインダ処理>

乾燥工程後に得られる成形体には、グリーンシート 11 に相当する部分に多くの樹脂成分が含有されているため、焼成工程に先立ち、予め脱バインダ処理を行う。脱バインダ処理は通常の条件で行えばよい。例えば、空気雰囲気中、昇温速度：30～120℃/h、保持温度：400～600℃、保持時間：0～2時間で脱バインダ処理を行う。脱バインダ処理を経ることで、成形体中の第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスは、それぞれ第1の誘電体材料部1、第2の誘電体材料部2を構成することとなる。

乾燥および脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトリソグラフィ結晶10として用いてもよいが、以下に示す焼成工程を行い、成形体を焼結体とすることで、機械的強度や誘電率がさらに向上したフォトリソグラフィ結晶10を得ることができる。

【0040】

<焼成工程>

脱バインダ処理を行った後、焼成工程に進む。焼成工程では、成形体を所定の焼成条件で焼成する。

焼成条件は、第1および第2の誘電体セラミックスの種類、誘電体ブロック13の寸法に応じて適宜設定すればよい。例えば、空気雰囲気中、昇温速度：300～1200℃/h、保持温度：800～1000℃、保持時間：0.1～3時間で焼成する。

焼成工程において、成形体中の第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスは同時焼成され、それぞれ第1の誘電体材料部1、第2の誘電体材料部2を構成することとなる。よって、両材質、つまり、第1の誘電体材料部1を構成する材質と第2の誘電体材料部2を構成する材質との焼成挙動を十分にマッチングさせておく必要がある。仮に、第1の誘電体材料部1を構成する材質と第2の誘電体材料部2を構成する材質との焼成挙動が相違すると、第1の誘電体材料部1と第2の誘電体材料部2との間に応力が発生し、フォトリソグラフィ結晶10とな

る焼結体にクラックが発生する場合があるからである。

【0041】

なお、誘電体ペーストを塗布したシートを積層し、この積層体を焼成するといういわゆる印刷法によっても、同時焼成は可能ではある。但し、この印刷法によれば、誘電体ペーストがシート上に存在することになるため、積層方向（Z方向）に連続したパターンが形成されたフォトリソグラフィ結晶を得ることはできない。これに対し、本実施の形態では、積層方向に連続した空隙を有する誘電体ブロック 13 に粉末スラリーを充填するという新規な手法を採用しているため、積層方向に連続したパターンが形成されたフォトリソグラフィ結晶 10 を得ることができる。つまり、本実施の形態によるフォトリソグラフィ結晶 10 の製造方法によれば、印刷法よりも周期構造の自由度が高い。

また、印刷法の場合には、誘電体ペーストの厚さによっては凹凸が激しいシート同士を積層することになる。このため、シートに形成される凹凸に起因して、積層が困難（形状の保持が困難）、焼成時または焼成後に焼結体にクラックが生じやすい、シート同士が焼成後に剥離しやすい、という問題がある。そして、シートに形成される凹凸に起因する問題を最小限にしようとする、誘電体ペーストの厚さが限定されることになり、これは最終的にはフォトリソグラフィ結晶の周期構造の自由度の低下を招くことになる。これに対し、本実施の形態では、予め孔 h を形成したグリーンシート 11 を積層することで、所定パターンの空隙を誘電体ブロック 13 中に形成するようにしたので、焼成時または焼成後に焼結体にクラックが生じにくく、シート同士が焼成後に剥離しやすいという問題も生じにくい。よって、本実施の形態の方法によれば、高強度かつ信頼性の高いフォトリソグラフィ結晶 10 を得ることができる。

【0042】

以上、本実施の形態におけるフォトリソグラフィ結晶 10 の製造方法を詳述した。工程数が少なく、かつ複雑な工程も要しないことから、本実施の形態におけるフォトリソグラフィ結晶 10 の製造方法によれば、フォトリソグラフィ結晶 10 を簡易かつ短時間で作製することができる。よって、本実施の形態におけるフォトリソグラフィ結晶 10 の製造方法は、量産性に優れる。

本実施の形態では、他の誘電体材料よりも比誘電率が高い誘電体セラミックスを使用してフォトニック結晶 10 を作製するようにしたので、素子サイズを小さくすることができる。さらに、比誘電率の比率が大きい 2 種類の誘電体セラミックスを使用してフォトニック結晶 10 を作製するようにしたので、広帯域のバンドギャップを得ることができる。本実施の形態におけるフォトニック結晶 10 は、特にマイクロ波～サブミリ波領域にバンドギャップを持ち、導波路、フィルタ、レゾネータ、分波器等として好適に用いられる。

【0043】

なお、上述したシートパンチング工程では、グリーンシート 11 に一度に複数の孔 h を形成する例を示したが、少量多品種に対応する場合には、孔のパターンに対応してパンチの動作を制御して、一孔ずつ穿孔することもできる。孔のサイズを変えるときには、径が異なる複数のパンチを用意し、コンピュータで使用するパンチを選定することができる。

このように、シートパンチングをコンピュータ制御で行うことにより、パターン変更に伴うコストや時間をほとんど要することなく、少量多品種に対応したフォトニック結晶 10 を作製することができる。

【0044】

なお、図 1 ではいわゆるハニカム構造のパターンを有するフォトニック結晶 10 を示したが、グリーンシート 11 の穿孔パターンを変更することで、他の構造パターンを有するフォトニック結晶を得ることもできる。

また、誘電体ブロック 13 の空隙内に、第 2 の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを充填させる例を示したが、誘電体ブロック 13 の空隙を誘電体としての空気とすることも可能である。

さらにまた、第 1 の誘電体セラミックスおよび第 2 の誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶 10 を作製する例を示したが、さらに第 3 の誘電体を使用してフォトニック結晶を作製することもできる。このように、さらに第 3 の誘電体を使用してフォトニック結晶を作製することで、新たな周期構造を備えたフォトニック結晶を得ることができる。ここで、第 3 の誘電体は空気であってもよいし、第 3 の誘電体セラミックスであってもよい。第 3 の誘電体を第 3 の誘電体セ

ラミックスとする場合には、例えば、誘電体ブロック 13 の一部の空隙に第 2 の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを充填し、残りの空隙には第 3 の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを充填すればよい。

【0045】

【実施例】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

(実施例)

第 1 の誘電体セラミックスとして、平均粒径が $0.7\ \mu\text{m}$ の $\text{BaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 系粉末（比誘電率：6.4）を準備した。また、第 2 の誘電体セラミックスとして、平均粒径が $1.0\ \mu\text{m}$ の $\text{BaO-Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}_2\text{-CuO}$ 系粉末（比誘電率：75.4）を準備した。

はじめに、第 1 の誘電体セラミックス、分散剤、樹脂および分散媒とをボールミルを用いて混合し、スラリー化した。そして、ドクターブレード法により、スラリーをシート化し、 $82\text{mm}\times 82\text{mm}\times 120\text{mm}$ のグリーンシートを作製した。なお、第 1 の誘電体セラミックス、樹脂および分散媒の比率は、vol% で 23 : 11 : 66 とした。分散剤、樹脂および分散媒の種類および分散剤の添加量は以下の通りとした。

【0046】

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー（商品名：共栄（株）製 フローレン G-700）

分散剤の添加量：第 1 の誘電体セラミックスに対して、1.5 wt%

樹脂：アクリル樹脂

分散媒：トルエン

【0047】

また、第 2 の誘電体セラミックス、分散剤および分散媒とを混合し、粉末スラリーを作製した。この際、第 2 の誘電体セラミックスおよび分散媒の比率は、vol% で 50 : 50 とした。分散剤および分散媒の種類および分散剤の添加量は以下の通りとした。また、混合はらいかい機を用いて、2 時間行った。なお、粉末スラリー作製の際に、樹脂を添加しなかったのは、樹脂の添加により粉末スラ

リーの粘度が高くなりすぎるのを防止するためである。

【0048】

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー（商品名：共栄（株）製 フローレン G-700）

分散剤の添加量：第2の誘電体セラミックスに対して、1wt%

分散媒：ターピネオール 50 vol%、ブチルカルビトール 50 vol%の混合溶液

【0049】

次いで、図4に示したパターンが形成されたパンチを用いて、グリーンシートにハニカム構造の孔を形成した。なお、孔の直径は1mmとした。

ハニカム構造の孔が形成されたグリーンシートを60枚積層して、所定の空隙パターンが形成された誘電体ブロックを得た。なお、熱圧着はグリーンシートを1枚積層する毎に行った。熱圧着の条件は以下の通りである。

【0050】

圧力：45 kg/cm²

加熱温度：85℃

保持時間：1秒

【0051】

こうして得られた誘電体ブロックを吸引板に載置し、第2の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを誘電体ブロックの上部に十分にせた。そして、吸引板の下からポンプで吸引し、誘電体ブロックの空隙内に、粉末スラリーを充填した。粉末スラリーが充填された誘電体ブロックを自然乾燥した後、以下の条件で脱バインダ処理を行い、その後、焼成して試料1を得た。得られた試料1の写真を図5に示す。なお、この試料1のサイズは、10.6mm×4.3mm×18mmである。

図5に示すように、誘電体ブロックの空隙内には第2の誘電体セラミックスが密に充填されており、ボイドやクラックは観察されなかった。

【0052】

<脱バインダ処理条件>

雰囲気：空気

昇温速度：60℃/h

保持温度：500℃

保持時間：0

<焼成条件>

雰囲気：空気

昇温速度：600℃/h

保持温度：910℃

保持時間：1h

【0053】

得られた試料を導波管内に静置し、ネットワークアナライザ（Agilent Technologies社製 HP-85120C）にて反射および透過特性を測定した。その結果を図6に示す。

図6に示すように、Kバンドに属する21.0～26.5GHzにて、30dB以上の減衰が確認され、バンドギャップが生成していることが明らかとなった。

【0054】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、量産性に優れたフォトニック結晶の製造方法が提供される。また、本発明によれば、小型、高強度かつ高特性のフォトニック結晶を、簡便に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は本実施の形態におけるフォトニック結晶を示す斜視図である。

【図2】 本実施の形態におけるフォトニック結晶の製造方法のフローチャートである。

【図3】 誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図である。

【図4】 2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する際に用いるパターンの一例を示す図である。

【図 5】 本実施例で得られた 2 次元周期構造を有する試料 1 の写真である

。

【図 6】 本実施例で得られた 2 次元周期構造を有する試料 1 の反射および透過特性の測定結果を示す図である。

【図 7】 3 次元周期構造を有するフォトニック結晶として知られるヤブロンバイト (Yablonovite) の斜視図である。

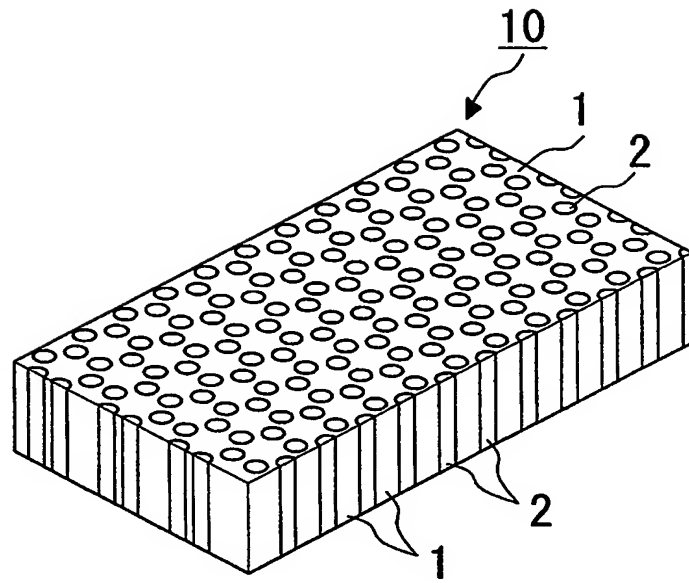
【符号の説明】

1・・・第 1 の誘電体材料部、2・・・第 2 の誘電体材料部、10・・・フォトニック結晶、11・・・グリーンシート（誘電体シート）、13・・・誘電体ブロック、h・・・孔

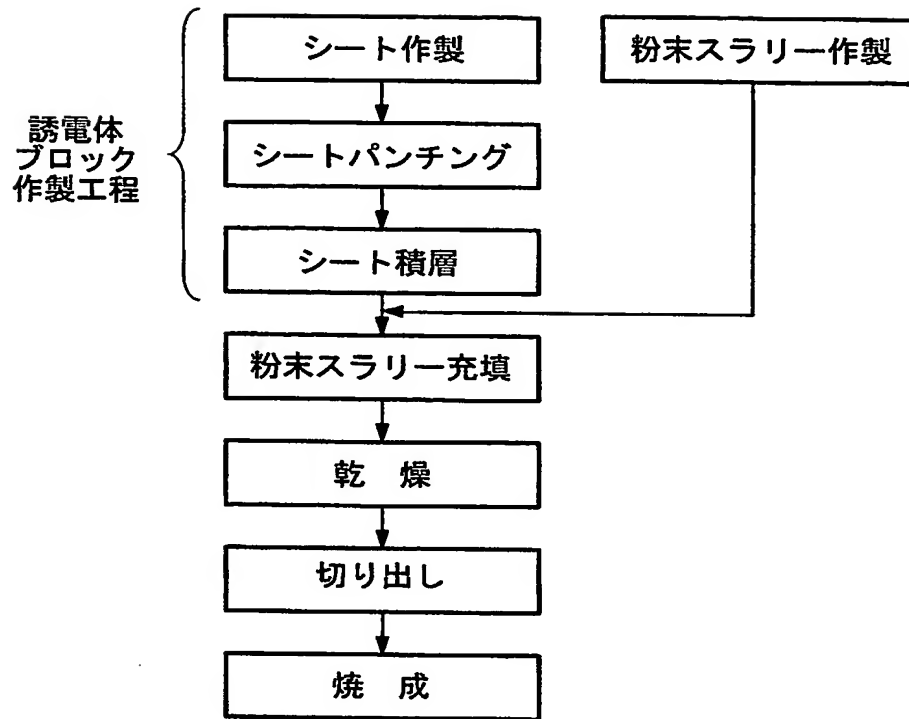
【書類名】

図面

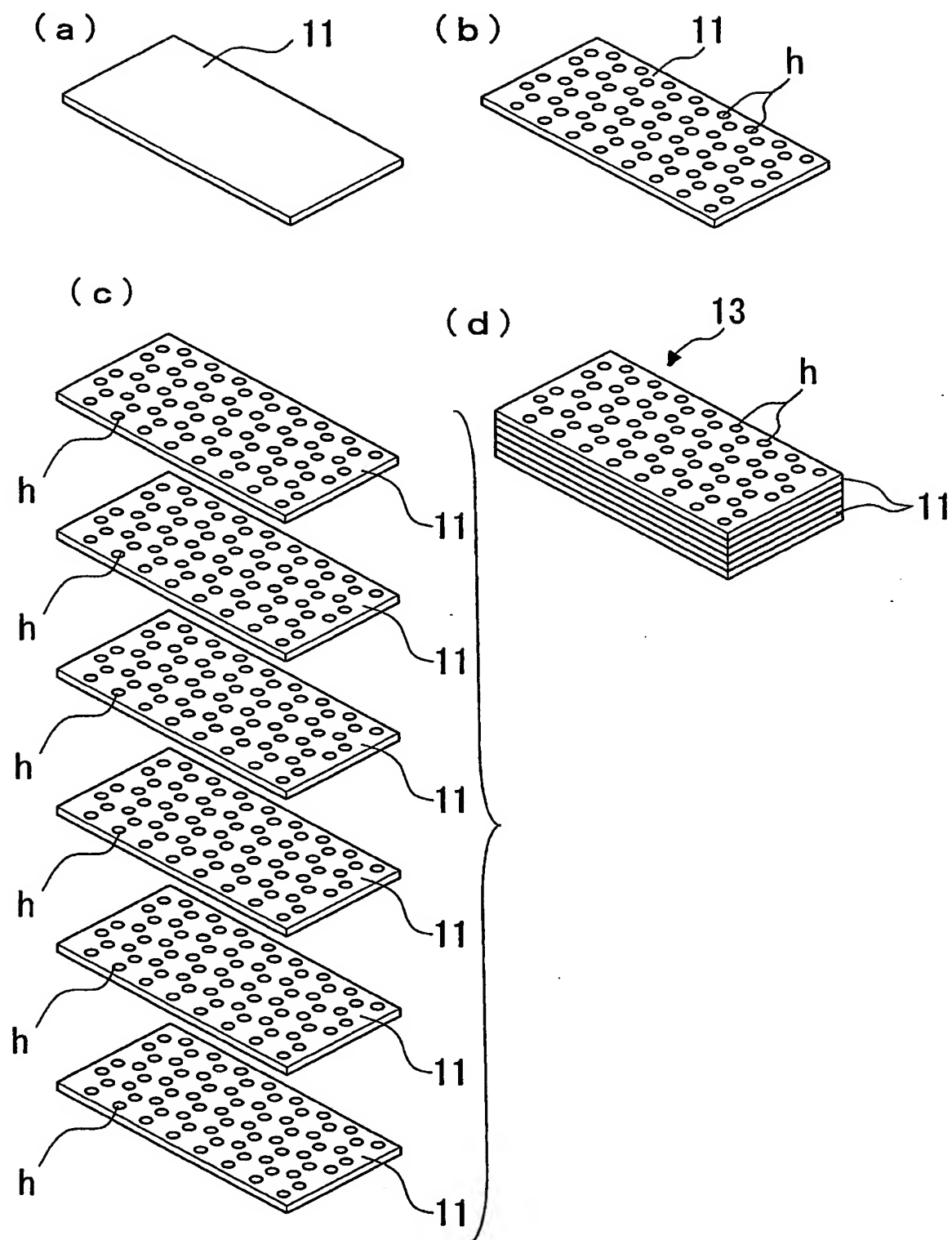
【図 1】



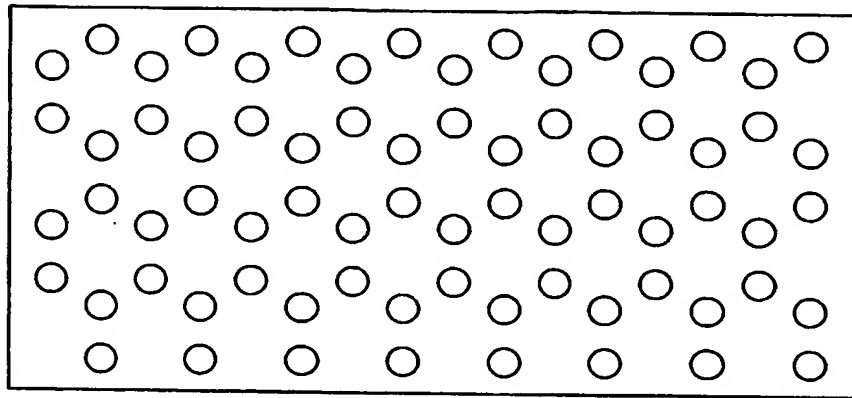
【図 2】



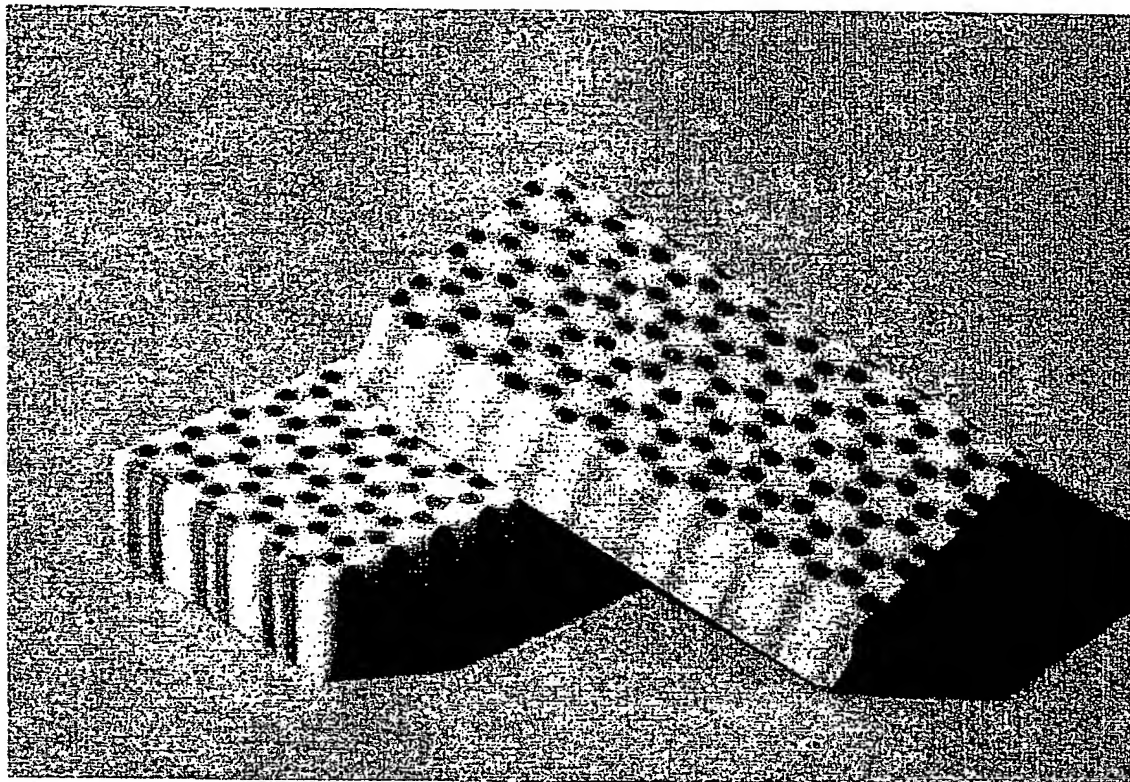
【図 3】



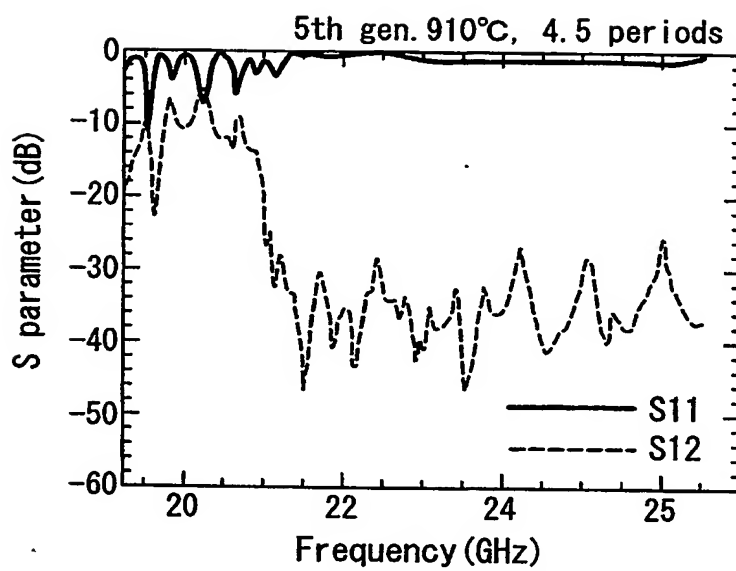
【図 4】



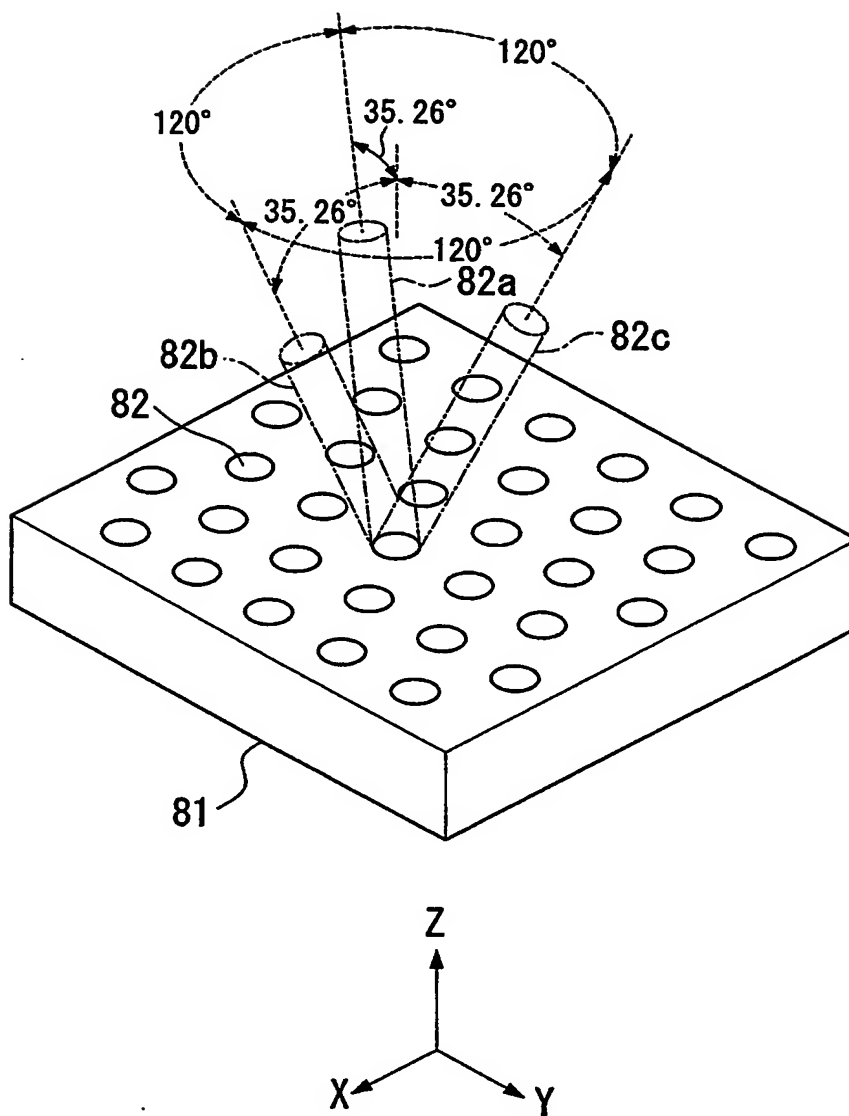
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 量産性に優れたフォトニック結晶の製造方法を提供する。また、小型、高強度かつ高特性のフォトニック結晶を簡便に得るための技術を提供する。

【解決手段】 まず、第1の誘電体を含むグリーンシート11に、厚さ方向に貫通する所定パターンの孔hを形成する。続いて、所定パターンの孔hが形成されたグリーンシート11を積層することで、所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロック13を得る。そして、誘電体ブロック13の空隙内に、第2の誘電体を充填するようにした。これにより、特に複雑な工程を要することなく、第1の誘電体と、第1の誘電体と異なる比誘電率を有する第2の誘電体とを周期的に配置したフォトニック結晶を得ることが可能となる。第1の誘電体および第2の誘電体を、いずれも誘電体セラミックスとすることで、小型かつ高特性のフォトニック結晶を得ることができる。

【選択図】 図3

特願 2 0 0 3 - 1 7 5 1 4 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 3 0 6 7]

- | | |
|----------|--------------------------|
| 1. 変更年月日 | 1 9 9 0 年 8 月 3 0 日 |
| [変更理由] | 新規登録 |
| 住 所 | 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号 |
| 氏 名 | ティーディーケイ株式会社 |
| 2. 変更年月日 | 2 0 0 3 年 6 月 2 7 日 |
| [変更理由] | 名称変更 |
| 住 所 | 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号 |
| 氏 名 | T D K 株式会社 |